

NEDOエネルギー・地球環境分野成果報告会2026

プログラムNo. A1-3-15

電源の統合コスト低減に向けた電力システムの柔軟性確保・最適化のための
技術開発事業(日本版コネクト&マネージ2.0)/

研究開発項目3-2

水力発電の柔軟性向上のための技術開発

発表：2026年7月23日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

発表者名 米澤 宏一

(一財)電力中央研究所、(株)東芝、(学)早稲田大学、(国)信州大学、

【再委託先】(国)東北大学

問い合わせ先 一般財団法人 電力中央研究所 URL: <https://criepi.denken.or.jp/>



目 次

- 事業の目的・計画
- 実施項目と主な成果
- 成果の社会実装に向けた活動
- まとめ

事業の目的・計画

背景

再生可能エネルギーの大量導入

第7次エネルギー基本計画では水力発電の大幅な増強

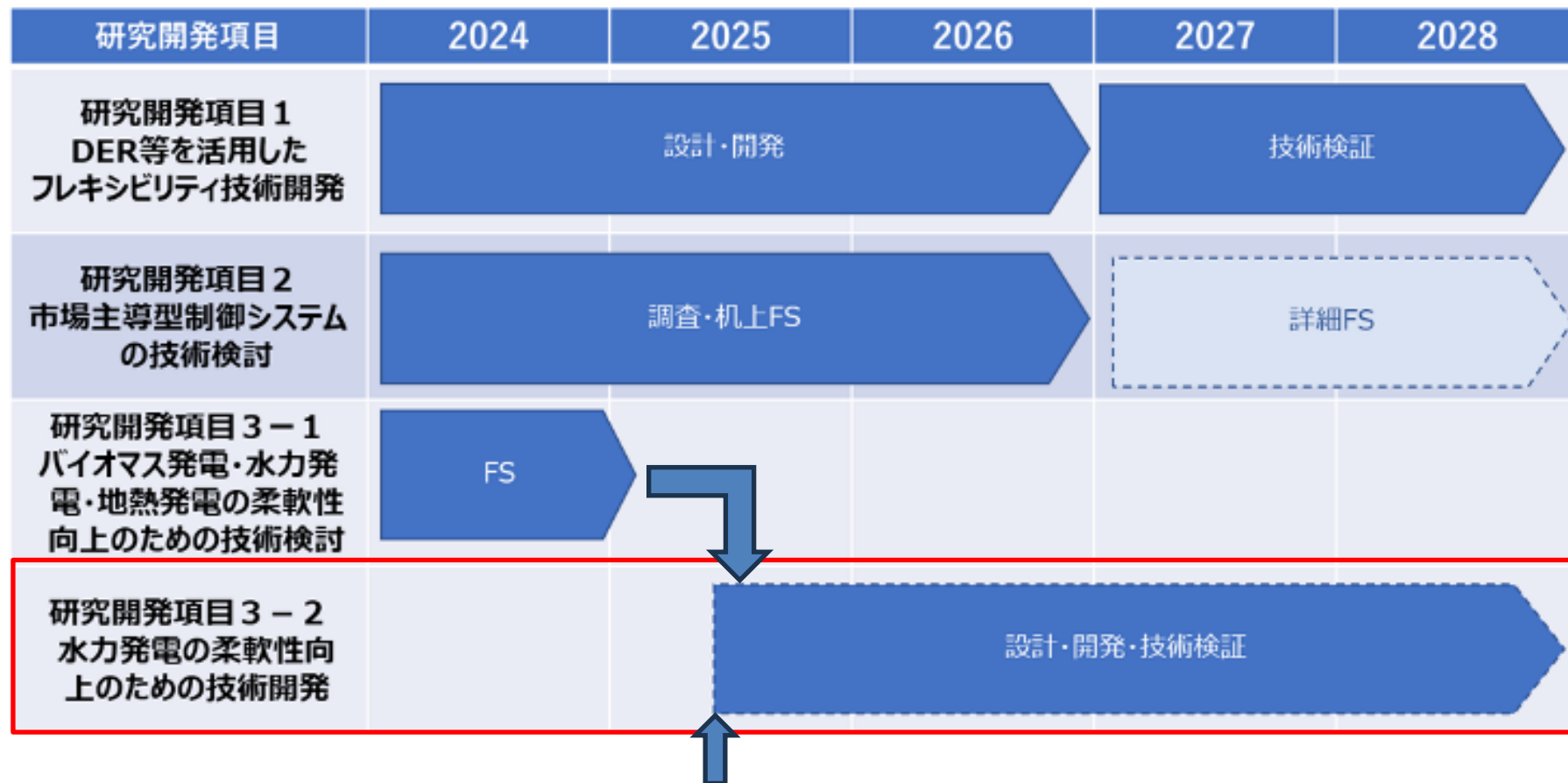
電力システムの再エネの急速拡大への対応が必要
電力システムへの統合コストの抑制が喫緊の課題

水力発電の調整電源としての役割に大きな期待

【課題】

水力発電の大幅な拡大・増強
柔軟な運用による調整能力

背景



2026年1月より事業開始

解決すべき課題

水力発電の柔軟性向上→系統安定に資する調整力～ Δ kW↑
安定・安価・クリーンな水力発電の増強→第7次エネ基～kWh↑

中小規模水力発電

台数制御(起動・停止)で Δ kW↑
水車台数を増やしてkWh↑

非設計流量での運転～信頼性低下の原因・効率低下
・設備へのダメージ、不安定流動による運転可能範囲の制限
・非設計流量運転の拡大に伴う溢水・損失増加

頻繁な起動停止・高速な出力調整～過渡応答
・設備へのダメージや余水処理による周辺影響

脆弱なバリューチェーン
・メーカの技術力や供給力の増強
・出力抑制は事業者にとってコスト圧力要因

大規模水力発電

運転範囲の拡大で Δ kW↑
水車効率の向上によりkWh↑

低負荷～極低負荷運転
・デジタル化と最適化制御
・不安定現象の回避・対策
・ダメージの抑制、検知

実施項目

〔1〕中小型水車の設計・ 解析支援技術の開発

①設計開発に必要なツールの開発

②フランス水車の標準設計
(比速度70～350m-kW)

③軸流水車の標準設計
(比速度200～900m-kW)

④クロスフロー水車の標準設計
(比速度60～110m-kW)

⑤模型試験プラットフォームの
開発および模型試験

〔2〕大型水車の極低負荷運転評価手法 と最適運用・制御システムの開発

⑥最適運用・制御システムの開発

⑦過渡応答評価ツールおよび対策法の開発

⑧極低負荷運転時の評価手法の開発

⑨ターボ機械協会ワーキンググループ

⑩検討委員会(外部有識者委員会)

実施項目と体制





実施項目と主な成果

①ツール開発～②③④標準設計

本事業における目標：水車3機種の標準設計

目標達成のために

- ①設計ツールや解析技術の開発
(水車選定、一次元性能予測、過渡応答解析など)
- ソフトウェア・技術資料の公開(2028年度～)
(電中研、早稲田大、信州大)

中小型水車の標準設計(2025-27年度)

- ② フランス水車(早稲田大)
- ③ 軸流水車(早稲田大)
- ④ クロスフロー水車(信州大)



性能・運用柔軟性の実証試験(2028年度)

- 水車模型試験：フランス水車(電中研)
- フィールド実証試験：
軸流水車(早稲田大)
クロスフロー水車(信州大)

中小型水車の設計標準化

データベース学習
によるシリーズ化

高速コンピュータ
シミュレーション
による設計最適化

要素模型試験
(内部流れの把握)

性能模型試験
(詳細性能把握)

実証設備
(実機検証)

フランス 水車

標準設計

従来型 3種類
新型 1種類

早稲田大学
新型水車

電中研
フランス水車

軸流水車

標準設計

3種類

早稲田大学
プロペラ水車

120 kW
プロペラ水車

クロスフロー 水車

標準設計

2種類

信州大学
クロスフロー
水車

30 kW
クロスフロー水車

①ツール開発～②③④中小水車の標準設計

水車選定ツール

フランスシス水車 2158 kW・Ns 150

koichi.yonezawa@gmail.com

読込

出力

保存

ログアウト

水車種類

自動選択 (推奨)

フランシス
Ns 70～250

カプラン
Ns 250～900

クロスフロー
Ns 50～250

基本パラメータ

有効落差 (H)
2 m

設計流量 (Q)
0 m³/s

水車効率 上限 (η_t)
70 %

比速度多項式推定:
η_{pred} = 93.77 %

発電機効率 (η_g)
90 %

回転数選定

目標比速度 (Ns_{target})
50

設置条件

吸出し高さ (H_s)
-5 m

設置標高
0 m

計算結果

H-Q 選定図

Ns 分布図

概略図

速度三角形

詳細設計

設計図面

性能曲線

履歴

プロジェクト

フランスシス水車
H=50m・Q=5.000 m³/s・50Hz・Ns=149.7

2158.2
水車出力 P_w
kW

2071.9
発電機出力
kW

149.7
比速度 Ns
m³/s

429
定格回転速度
rpm

14
極数
p

771
無拘束速度
rpm

93.77
推定最高効率 η_{pred}
%

OK キャビテーション
H_s=2.0m ≤ H_{s,max}=9.60m

OK 比速度の妥当性
Ns=149.7 (フランシス水車の適正範囲 70～250)

OK 標高・大気圧低下
標高 0m 大気圧 101.33 kPa

INFO 無拘束速度
無拘束速度 771 rpm (係数×1.8) 発電機・軸系の許容回転数と比較してください

OK 管路損失
管路損失 hf=0.85m (1.7%)

NG 水撃圧
ΔH=244.6m (+489.3%) 遮断弁の閉鎖時間で緩和可能

フランスシス水車 専用パラメータ

アウトレット径 D_{2e} 896.1 mm

ガイドベーン高さ B_d 193.4 mm

ランナーブレード数 16 枚

最小流量 Q_{min} 500.0 l/s

入口径 D₀₁ 896.0 mm

スパイラルケーシング径 1030.1 mm

ガイドベーン数 16 枚

無拘束時流量 Q_r 2750.0 l/s

寸法系 (共通)

ランナー径 D 896.1 mm

吸出し管径 1261.6 mm

水理・構造系

GD² 550.79 kN・m²

水撃圧 ΔH 244.6 m

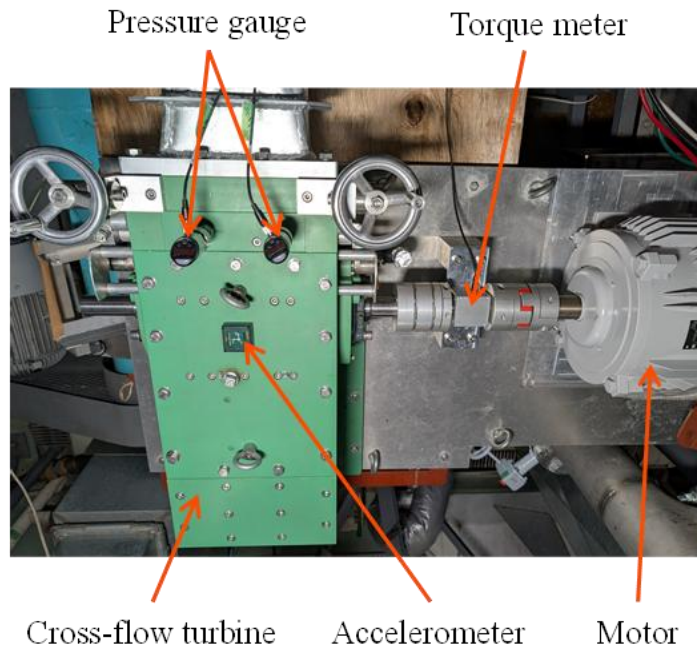
電気系

発電機容量 2437.5 kVA

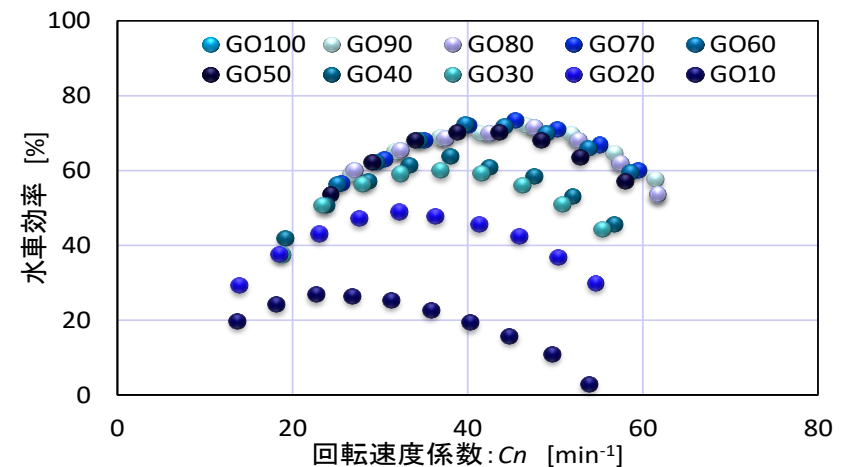
力率 85 %

保存された計算がありません

①ツール開発～②③④中小水車の標準設計



クロスフロー水車試験装置
(信州大)



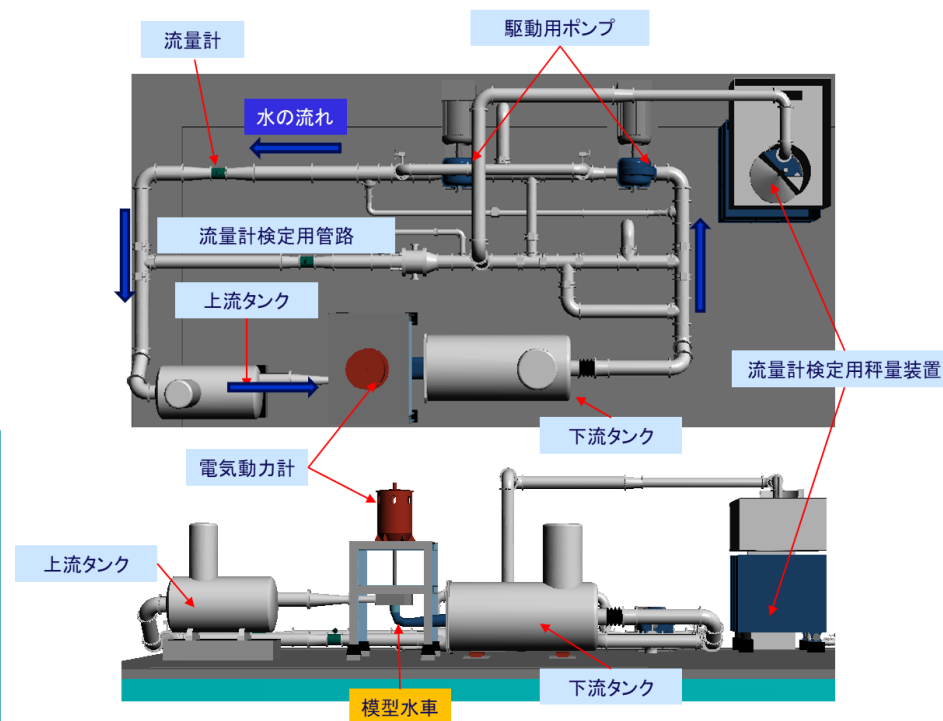
クロスフロー水車標準設計に向けた数値シミュレーション・要素試験(信州大)

⑤ 模型試験プラットフォーム

装置の計画を策定(電中研)

- 水車模型の最大出力は400kW
- 国際規格IEC 60193に準拠した設備
- 発電所では試験ができない、様々な回転数、流量、キャビテーション条件などを網羅した試験を実施する。

- 電力中央研究所我孫子地区に設置予定
- 2025年度基本計画完了
→2027年度までに完成
- ②フランス水車3機種の実証試験
(2028年度)
- 将来は共用設備化
(継続的な研究開発、中小水車メーカーや
発電事業者の技術開発基盤)



装置の計画図(電中研)

⑥最適運用・制御システムの開発

- 監視項目や既存の制御システムとの取り扱い方法などの標準化
(～2028年度)(東芝、電中研)

【技術開発(～2027年度)】(東芝)

- 機器損耗リスクを回避する制御システム(**SPPS : Smart Power Plant Supervisor**)の確立
- 高速・高頻度な出力調整を抑制するシステム(BESS : Battery Energy Storage System)との協調制御

【試験・実用化(2028年度～)】(東芝)

- 実機による実証検証
- 極低負荷運転の実現

対策(NEDO実施内容)

【現状把握】

- ・実機データ取得・分析

(東芝)

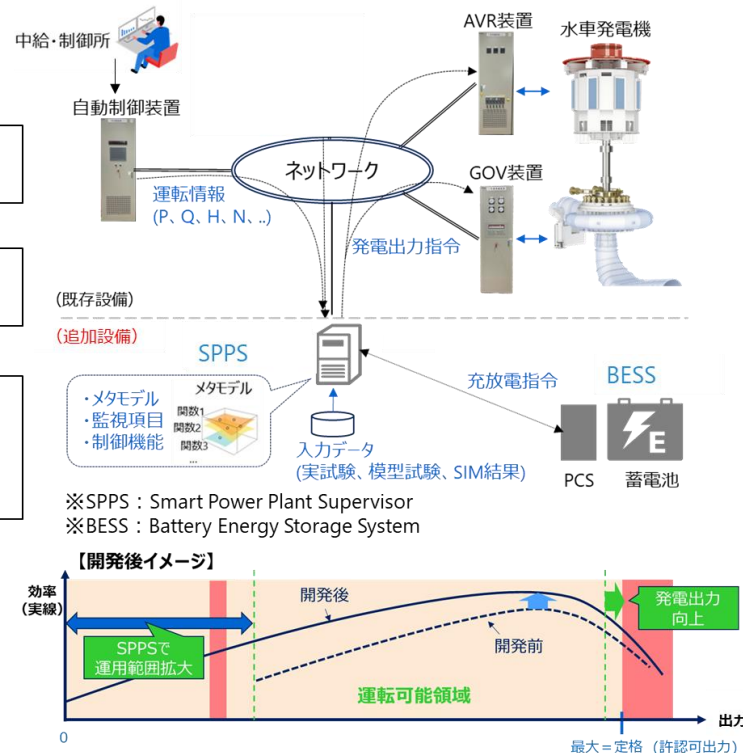
- ・監視項目や既存の制御システムとの取り扱い方法の標準化

(東芝・電中研)

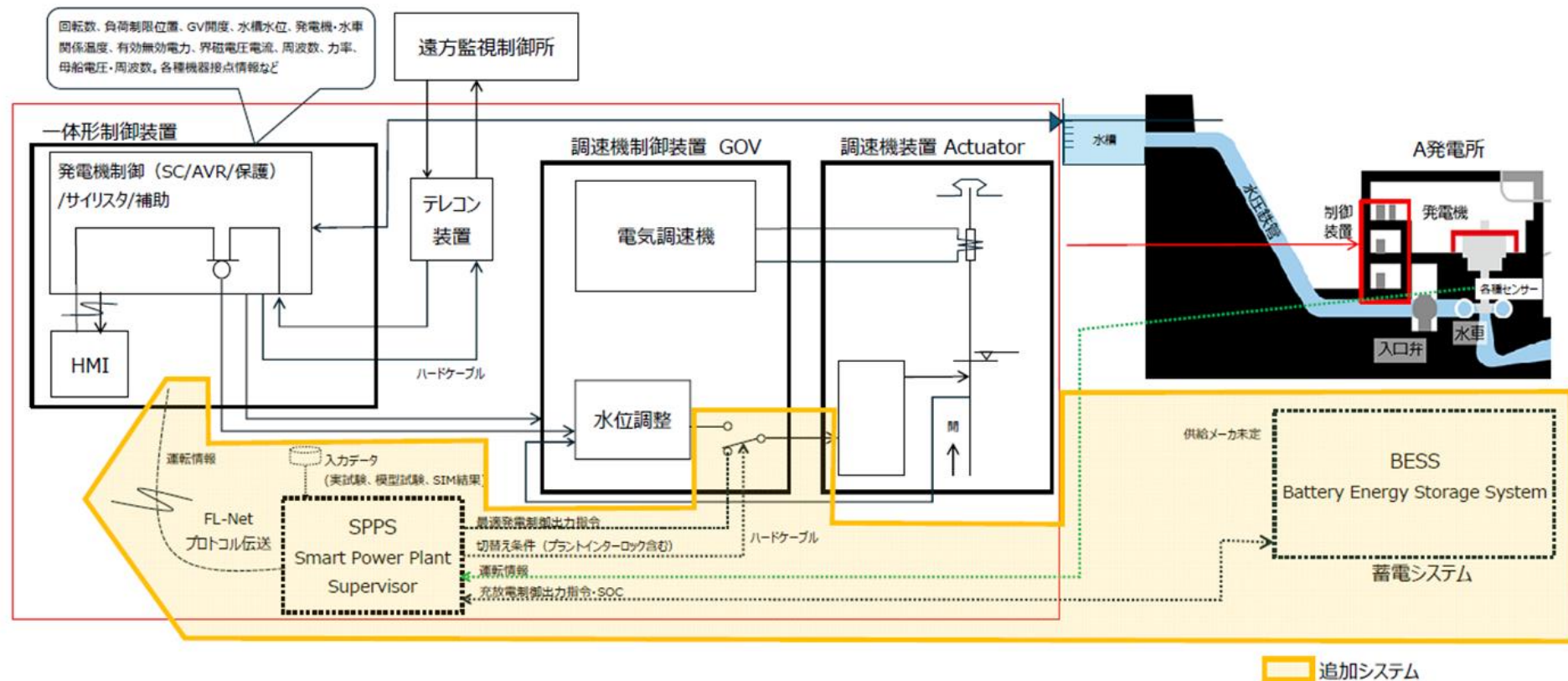
【対策】

- ・SPPSとBESS※の設計、製作
- ・SPPSとBESSの協調制御検討
- ・実プラントに設置、検証

(東芝)



⑥最適運用・制御システムの開発



2025年度実施事項(東芝)

- ✓ SPPSおよびBESSの実証検証を行う水力発電所を選定
- ✓ 選定した発電所の既設制御システムの構成および入出力情報を確認
- ✓ 既設制御システムと新たに設置するSPPSおよびBESSとの取合いを検討し、システム構成案を作成

⑦過渡応答評価ツールおよび対策法の開発

流れ込み・水路式発電所：高速な出力抑制・運転停止による柔軟性向上

- 余水放流は高流速のため、振動・騒音が発生。
河川の安全確保も問題
- 余水路は非常時に使用可
→運用変更はハードルが高い
- 設備損傷や溢水による経済的損失

最適な運用・制御が重要

シミュレーション技術の高度化
取水口～水路～水車の過渡応答の定量評価
→解析ツール開発、試験による検証

余水路の社会的制約を前提に、余水排水量の最小化、出力調整速度の最大化、設備圧力荷重の最小化を同時達成する多目的最適化手法を確立する。

過渡応答対策の取り組み（電中研）

2025年度：取水口ヘッドタンク（水理設備）・水圧鉄管～水車模型を用いた試験計画を策定

2026-27年度～試験設備製作、試験、解析ツールの開発

2028年度～解析ツール公開

水路式



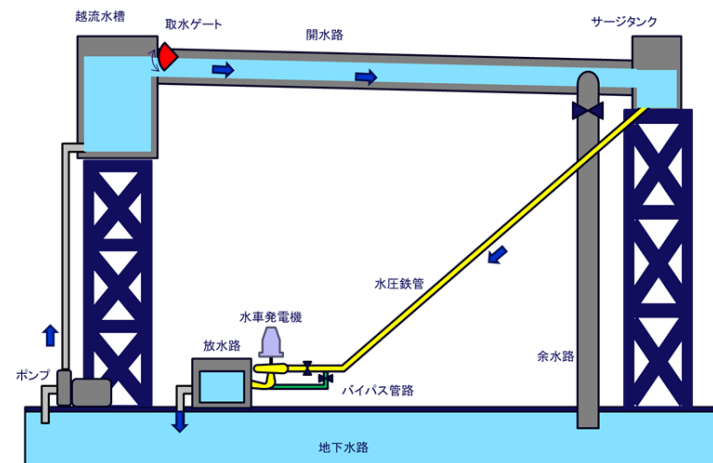
↑ヘッドタンクと余水吐



↑余水路(煉瓦積)と高速射流



↑余水路出口と合流河川



⑧極低負荷運転時の評価手法の開発

極低負荷運転の流動現象の把握と最適運用・制御の基礎データを取得(東芝)

■ 現地計測(2026年度)

①極低負荷運転, 不安定領域の運転状態の定量的な把握

現地計測, 模型試験, シミュレーション結果を駆使し, 流動現象の解明

	実機	模型試験	CFD
内部流動現象の可視化	×	△	○
データ計測	○	○	×
実機状態把握	○	×	×

②最適運用・制御に適用可能な現地計測データの見極め

■ 実施内容:

①発電所の運転を停止し, 水車・発電機に計測器を設置。

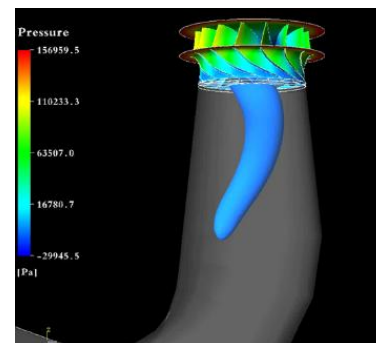
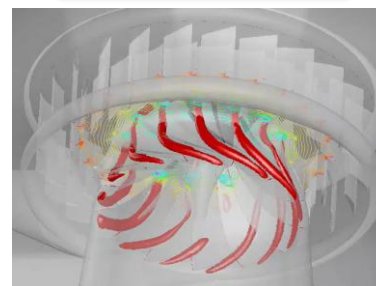
②極低負荷運転などの条件を設定し, データを取得

※計測項目: 圧力・流量・温度・振動・騒音・キャビテーション兆候
(AE信号)・部分放電等

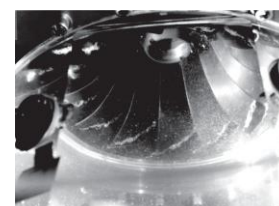
※極低負荷・不安定領域

水力特性が悪化し, 渦, キャビテーション等が発生し, 場合によって壊食, 脈動, 振動・騒音, 電力動揺などを引き起こすおそれがあるため, 運転しない。

シミュレーション



模型試験設備



ランナ出口翼間渦



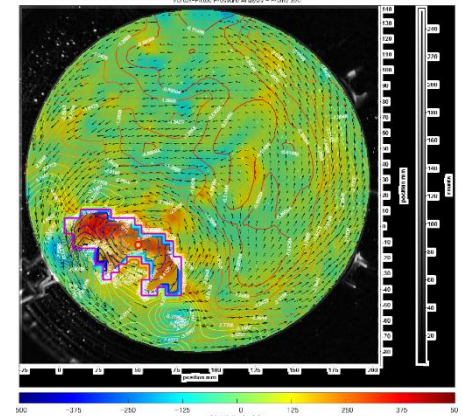
ドラフトホワール

極低負荷・不安定領域での内部流れの数値シミュレーション、模型試験(東芝)

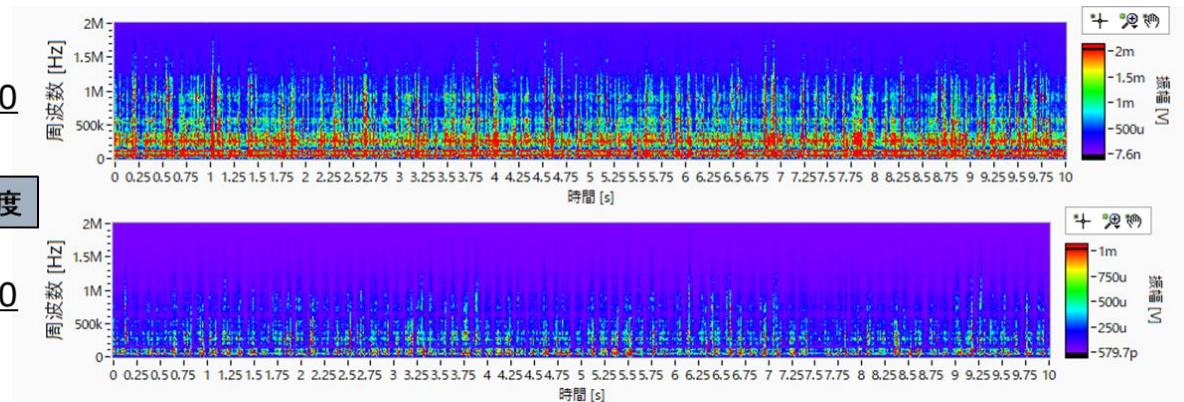
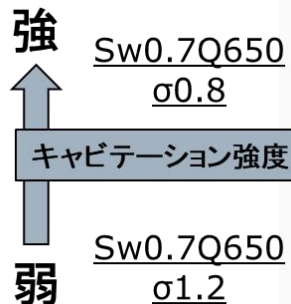
⑧極低負荷運転時の評価手法の開発

極低負荷運転時の流動現象の簡易評価手法を確立に向けた取り組み(早稲田大)

- ✓ 極低負荷運転時流れの分析評価のため、**解析的、実験的なアプローチ**を開始。粒子軌跡追跡法(PIV)を用いて、渦芯ふれ回り挙動を可視化、流動不安定との関係を調査中。
- ✓ キャビテーションによる**流動不安定の解明**のためのシャドウグラフシステム、レーザドップラ流速計を導入し、実験を開始(2025年度～)
- ✓ キャビテーション**壊食の予測手法構築**のためAEセンサを導入し、試験を開始(2026年度～)
- ✓ **流動不安定メカニズム解明に重要な要素となる気液二相流**での挙動解明のための研究を計画。



レーザー可視化システムによる粒子軌跡追跡法(PIV)結果



AEセンサーによるキャビテーション計測例



成果の社会実装に向けた活動

⑨ターボ機械協会ワーキンググループ活動

ターボ機械協会

「水力エネルギー利用促進分科会」に

「水力発電の柔軟性向上のための技術開発WG」を設置した

SWG1: 中小型水車の設計標準化

SWG2: 水力発電のデジタル技術標準化

目的: 本事業の成果の情報共有、標準化に向けた意見交換

➡ (本年度の報告事項)

メーカ、発電事業者、自治体、大学・研究機関、など多岐にわたる所属機関から、**合計67名**が参加。

※2026/4/13に第1回会合を実施した

会合は年2回開催予定

まとめ

中小水力発電対象:

メーカーや発電事業者への技術支援を目的として

- 設計・開発に必要なツール・技術開発
 - 水車の標準設計
 - 模型試験プラットフォームの開発
- を実施中

大型水力発電対象:

- 最適運用・制御システムの開発
- を実施中

中小・大型水力発電共通:

- 過渡応答評価ツール開発と対策の検討
 - 極低負荷運転時の評価手法の開発
- を実施中

標準化や成果の普及のため、ターボ機械協会においてWG運営・活動実施中